

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2005年3月31日 (31.03.2005)

PCT

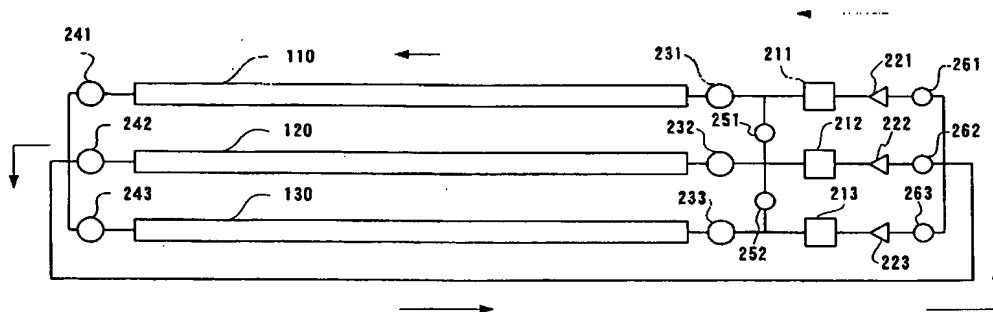
(10) 国際公開番号  
WO 2005/029510 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01B 12/16
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/013120
- (22) 国際出願日: 2004年9月9日 (09.09.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-328780 2003年9月19日 (19.09.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 増田 孝人 (MASUDA, Takato) [JP/JP]; 〒5548511 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 湯村 洋康 (YUMURA, Hiroyasu) [JP/JP]; 〒5548511 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 深見 久郎, 外 (FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300054 大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井住友銀行南森町ビル 深見特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: SUPER-CONDUCTIVE CABLE OPERATION METHOD AND SUPER-CONDUCTIVE CABLE SYSTEM

(54) 発明の名称: 超電導ケーブルの運転方法および超電導ケーブルシステム



(57) Abstract: There is provided a super-conductive cable operation method for performing power transmission by using a conductive material cooled by a coolant. By changing the coolant temperature, it is possible to change the power transmission capacity of the super-conductive cables (110, 120, 130). The super-conductive material can increase the critical current value by reducing its temperature and accordingly, by changing the coolant temperature, it is possible to change the power transmission capacity without performing an excessive design or additional design of the cable.

(57) 要約: 冷媒で冷却した導体を用いて送電する超電導ケーブルの運転方法であって、前記冷媒温度を変化させることで超電導ケーブル (110、120、130) の送電容量を変化させる。超電導材料は、その温度を下げることで臨界電流値を上げることができるため、冷媒温度を変化させることでケーブルの過剰設計や増設を行なうことなく超電導ケーブル (110、120、130) の送電容量を変化させることができる。



---

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### 超電導ケーブルの運転方法および超電導ケーブルシステム

#### 技術分野

- [0001] 本発明は超電導ケーブルの運転方法および超電導ケーブルシステムに関するものである。特に、ケーブルの増設を行なうことなく容量の増大が可能な超電導ケーブルの運転方法に関するものである。

#### 背景技術

- [0002] 常電導ケーブルの場合、一つの送電ルートは事故時の対応を考えて複数回線で構成されている(例えば非特許文献1)。例えば、一ルートを3回線で構成する。その場合、全回線を用いた最大の送電容量を3Eとし、1回線が事故により不通となっても残る2回線で3Eの送電容量を確保できるように、各回線のケーブルの最大容量は1.5Eに設計されている。
- [0003] また、ある地域で電力需要の増大が予想される場合、その増大する需要に対応した送電を行なうには、基本的にケーブルを増設するしかない。
- 非特許文献1:飯塚喜八郎、「新版・電力ケーブル技術ハンドブック」、株式会社電気書院、1989年3月25日第一版、14～17頁

#### 発明の開示

##### 発明が解決しようとする課題

- [0004] しかし、従来の常電導ケーブルにおける運用の仕方では、次のような問題があった。
- [0005] (1)ケーブルが過剰設計となり、ケーブル価格の増大を招く。
- [0006] 常電導ケーブルに関する従来の技術では、常時は3回線で3Eの送電容量を流すため、1回線当たりの送電容量はEとなる。しかし、事故時の送電容量を考慮してケーブルの設計容量は1.5Eにしなければならず、必然的に常時の容量に応じた設計よりも過剰な設計が求められる。その結果、ケーブル価格の増大につながっている。
- [0007] (2)ケーブルの増設が容易にできない場合がある。
- [0008] 国によっては、一定電圧以上の送電線を新設する際には、布設箇所の近隣住民の

承諾が必要な場合がある。その場合、電力需要の増大が予想されたとしても、容易にケーブルを増設することができず、電力需要の増大に対応することが難しい。また、増設が可能であっても、その増設には当然建設費が必要となる。

[0009] 従って、本発明の主目的は、ケーブルの過剰設計や増設を行なうことなく安価な方法で送電容量の調整が可能な超電導ケーブルの運転方法を提供することにある。

[0010] また、本発明の別の目的は、上記運転方法の実現に好適な超電導ケーブルシステムを提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0011] 本発明は、超電導ケーブルを用い、冷媒温度を一定に保持するのではなく可変とすることで上記の目的を達成する。

[0012] 本発明超電導ケーブルの運転方法は、冷媒で冷却した導体を用いて送電する超電導ケーブルの運転方法であって、前記冷媒温度を変化させることで超電導ケーブルの送電容量を変化させることを特徴とする。

[0013] 従来から研究されている超電導ケーブルでは、冷媒温度を一定に保持して導体の超電導状態を安定的に維持することに重点がおかれている。一方、超電導材料は、図3のグラフに示すように、その温度を下げることで臨界電流値を上げることができるという性質を有する。このグラフでは、Bi2223系超電導材料の温度を変化させ、77 Kにおける臨界電流を $I_{c0}$ として、各温度における臨界電流( $I_c$ )と $I_{c0}$ との比率( $I_c/I_{c0}$ )を示している。つまり、定常運転時の冷媒温度( $T_0$ )を決めておき、冷媒温度を $T_0$ よりも下げれば超電導ケーブルの送電容量を増大でき、冷媒温度を $T_0$ よりも上げれば送電容量を減少することができる。従って、冷媒温度を変えることで超電導ケーブルの送電容量を変えることができる。

[0014] この送電容量の可変は、いくつかの異なる形態で利用することができる。その一つは、電力需要の増大が生じた場合、定常運転時よりも冷媒温度を下げて超電導ケーブルの送電容量を増大させ、増大した電力需要に応じた送電を行なうことである。

[0015] 国によっては、一定電圧以上の送電線を新設する際には、布設箇所の近隣住民の承諾が必要な場合もあり、電力需要の増大が予想されたとしても、容易にケーブルを増設することができないことがある。また、ケーブルの増設が可能であったとしても、

多大な費用と時間が必要となる。本発明の運転方法によれば、ケーブルを増設することなく既存の超電導ケーブルをそのまま利用して送電でき、安価にかつ短時間で電力容量を増大することができる。

[0016] 逆に、電力需要が減少する場合には、冷媒温度を上げて超電導ケーブルの送電容量を下げることも可能である。その場合、超電導ケーブルの冷却コストを低減することができ、超電導ケーブルの運転に要する費用を削減することができる。

[0017] もちろん、冷媒温度の低下と上昇とを機動的に組合せ、超電導ケーブルにつながる負荷側の電力需要を監視し、電力需要の増減に応じて冷媒温度を上下して、電力容量を増減することも可能である。

[0018] 送電容量を可変することの2つめの利用形態は、複数回線の超電導ケーブルの一部に事故が生じて事故回線での送電が不能になった場合、残る健全回線の送電容量を事故前よりも増大することである。つまり、超電導ケーブルが複数回線あり、一部の回線に事故が生じた場合、事故の生じていない健全回線の冷媒温度を事故前の温度より低温にして健全回線の送電容量を増大させる。そして、事故前に健全回線で送電していた容量を超える電力を事故後に健全回線で送電する。

[0019] 例えば、3回線の超電導ケーブルがあり、各回線の送電容量をEとすると、通常は3Eの容量の送電を行なうことができる。しかし、そのうちの1回線の超電導ケーブルに事故が発生し不通となった場合、一定の冷媒温度で運転していたのでは2Eの容量でしか送電できない。そこで、残った2つの健全回線の冷媒温度を下げ、それら健全回線の送電容量を事故前よりも増大させる(2E超とする)ことで、より多くの電力(電流)容量を確保することができる。

[0020] 上記の各形態において、冷媒の温度を可変するには、いくつかの手段が考えられる。

[0021] その一つは、当初より冷却能力の高い冷凍機を用いて冷媒を冷却することである。例えば、液体窒素を冷媒として定常運転での冷媒温度 $T_0$ を沸点よりもわずかに低い温度としていた場合、用いる冷凍機は $T_0$ を維持するのに必要な能力を備えていれば良い。一方、電力需要の増大や一部の回線故障により、超電導ケーブルの送電容量を増大させる場合、冷媒を $T_0$ 以下の温度にまで冷却する必要がある。その場合、

実質的に冷媒の凝固点まで冷却可能な冷凍機を用いればよい。冷媒を凝固点よりも低い温度に冷却すると固化して循環できなくなるため、実質的に冷媒の凝固点まで冷却できる能力があれば良い。

[0022] 別の方法として、冷媒を入れ替えることが挙げられる。つまり、冷媒を高凝固点冷媒から低凝固点冷媒に入れ替えて、実質的に高凝固点冷媒の凝固点以下にまで冷却可能な冷凍機を用いればよい。例えば、高凝固点冷媒として液体窒素で運転を行っており、送電容量の増大を行う場合、低凝固点冷媒である液体空気に冷媒を入れ替えて液体窒素での運転時よりも冷媒を低温にする。この方法によれば、より広い範囲で冷媒の温度調整が可能になり、送電容量の変化幅も広くとることができる。

[0023] なお、この冷媒の入れ替えは、数日を要することが考えられるため、複数回線のうち、一部の回線に事故が生じた場合に健全回線の送電容量増大を図る場合よりも、将来に電力需要の増大が予想される場合に、予め超電導ケーブルの送電容量増大を行っておく場合などに適している。

[0024] その他、複数回線の一部に事故が起こった場合は、事故回線の冷凍機も利用して健全回線の冷媒を冷却することが挙げられる。すなわち、超電導ケーブルが複数回線あり、回線数に対応して冷媒を冷却する冷凍機が備えられている場合に一部が事故回線となれば、事故回線の冷凍機と健全回線の冷凍機の双方を用いて健全回線の冷媒を事故前の温度より低温に冷却する。この場合、事故回線において、超電導ケーブルは事故により利用不能であるが、その回線に対応した冷凍機は利用可能であることを前提としている。例えば、3回線のうち1回線の超電導ケーブルが利用不能になった場合、全回線数に対応した冷凍機、つまり3台の冷凍機を用いて残る2回線の健全回線に対して冷媒の冷却を行い、より効果的に冷媒の冷却を行うことができる。

[0025] 上記のいずれの場合においても、冷媒は導体を超電導状態に維持するのに必要な温度に冷却できる流体であればよい。特に、沸点と凝固点との差が大きい材料であれば、冷媒を液体の状態に保持しつつ冷媒温度を変えることで超電導ケーブルの送電容量を広い範囲で変えることができて好ましい。沸点と凝固点の差は5℃以上あることが望ましく、さらには10℃以上であることが一層好ましい。代表的には、液体窒

素、液体空気、液体水素、液体ネオン、液体ヘリウム、液体酸素のいずれかを利用することができる。とりわけ、液体空気は沸点が約79K、凝固点が55Kであり、沸点と凝固点の差が大きく、液体窒素（沸点約77K、凝固点約63K）よりも低い凝固点を有するため、超電導ケーブルの送電容量を増量するために好ましい冷媒である。なお、この明細書において、沸点や凝固点はいずれも大気圧における値で示している。

[0026] また、上記の本発明方法を用いる超電導ケーブルシステムの第1の構成は、超電導ケーブルと、超電導ケーブルに用いられる冷媒を冷却する冷却機構と、冷却機構で冷却した冷媒を超電導ケーブルに循環する循環機構と、超電導ケーブルにつながる負荷側の電力需要に応じて冷媒温度を調整する冷媒温度制御機構とを有することを特徴とする。

[0027] 冷却機構には冷媒の冷却を行う冷凍機が利用できる。また、循環機構の代表例としてはポンプが挙げられる。冷媒温度制御機構としては、負荷電流の検知手段と、この検知手段で測定した負荷電流に応じて冷却機構の温度を制御する温度制御手段とを有するものが挙げられる。

[0028] 上記の本発明方法を用いる超電導ケーブルシステムの第2の構成は、複数の超電導ケーブルと、各超電導ケーブルに用いられる冷媒を冷却する冷却機構と、冷却機構で冷却した冷媒を超電導ケーブルに循環する循環機構と、一部の超電導ケーブルが不通になった場合、不通になった超電導ケーブルへの冷媒供給を遮断し、残りの健全な超電導ケーブルへ冷媒供給を可能にする冷媒流路切替機構とを有することを特徴とする。

[0029] 冷媒流路切替機構には、冷却機構の冷媒排出側および循環機構の冷媒導入側流において、各超電導ケーブルの冷媒流路を連結する配管と、この配管又はその延長上に設けられて、不通となった超電導ケーブルへの冷媒供給を遮断するバルブとを有する構成が利用できる。

### 発明の効果

[0030] 以上説明したように本発明の超電導ケーブルの運転方法によれば、ケーブルの過剰設計や増設を行なうことなく安価な方法で送電容量の調整が可能となる。

[0031] また本発明の超電導ケーブルシステムは、上記運転方法の実現に好適である。

## 図面の簡単な説明

- [0032] [図1]本発明超電導ケーブルシステムの概略図である。  
[図2]図1の線路に用いた超電導ケーブルの断面図である。  
[図3]超電導材料における温度と臨界電流比率との関係を示すグラフである。  
[図4]負荷電流の検知手段と温度制御手段とを説明するための図である。

## 符号の説明

- [0033] 10 フォーマ、20 導体層、30 電気絶縁層、40 磁気遮蔽層、50 保護層、60 断熱管、61 コルゲート内管、62 コルゲート外管、70 防食層、110、120、130 超電導ケーブル、211～213 冷凍機、221～223 ポンプ、231～233、241～243、251、252、261～263 バルブ、271～273 負荷電流の検知手段、281～283 温度制御手段。

## 発明を実施するための最良の形態

- [0034] 以下、本発明の実施の形態を説明する。まず、本発明運転方法の説明に先立って、本発明方法を用いる超電導ケーブル線路を説明する。

- [0035] [超電導ケーブル線路]

本発明超電導ケーブルシステムの概略図を図1に示す。図1を参照して、この線路は、3回線の超電導ケーブル110、120、130と、各回線の超電導ケーブル110、120、130に冷媒を循環供給する冷却系統とを有する。なお、図1では省略しているが、超電導ケーブル110、120、130の一端は電力供給側につながり、他端は負荷側につながっている。

- [0036] (超電導ケーブル)

図2は図1の線路における各回線に用いた3心一括型超電導ケーブルの断面図である。図2を参照して、このケーブルは3心のコアを断熱管内に収納した構成を有する。1回線のケーブルは3相で構成され、各相に1心のコアが対応する。各コアは、中心から順に、フォーマ10、導体層20、電気絶縁層30、磁気遮蔽層40、保護層50を有している。これらの各層のうち、導体層20と磁気遮蔽層40に超電導線材が用いられる。

- [0037] <フォーマ>



フォーマ10には、金属線を撚り合わせた中実のものや、金属パイプを用いた中空のものが利用できる。中実のフォーマの一例としては、複数の銅素線を撚り合わせたものが挙げられる。撚り線構造のフォーマとすることで、交流損失の低減と過電流での温度上昇抑制を同時に実現できる。一方、中空のフォーマを用いた場合、その内部を冷媒の流路にすることができる。

[0038]      < 導体層 >

導体層20には、複数本の酸化物高温超電導フィラメントを銀シースで被覆したテープ線材が好適である。ここではBi2223系テープ線材を用いた。このテープ線材をフォーマの上に多層に巻回して導体層20を構成する。この導体層20は、各層で超電導線材の撚りピッチが異なっている。加えて、各層ごと又は複数層ごとに巻き方向を変えることで、各層に流れる電流の均流化を図ることができる。

[0039]      < 層間絶縁層 (図示せず) >

導体層20における最内層の超電導層とフォーマ10との間、導体層20を構成する各層の間ならびに磁気遮蔽層40を構成する各層の間には、層間絶縁層が形成される。この層間絶縁層は、クラフト紙を導体層20の各層あるいは磁気遮蔽層40の各層の外周に巻回して構成する。この層間絶縁層により、導体層20および磁気遮蔽層40の各層を層ごとに電氣的に独立した構成とすることができる。

[0040]      < 電気絶縁層 >

導体層20の外周には電気絶縁層30が形成される。この絶縁層30は、例えばクラフト紙にポリプロピレンなどの樹脂フィルムをラミネートしたもの(住友電気工業株式会社製PPLP:登録商標)などを用い、導体層20の外周に巻回して構成することができる。

[0041]      < 磁気遮蔽層 >

交流用の超電導ケーブルの場合は、絶縁層30の外側に磁気シールドのための磁気遮蔽層40を設ける。磁気遮蔽層40は、絶縁層30の外側に導体層に用いたものと同様の超電導線材を巻回して形成される。この磁気遮蔽層40に導体層20とほぼ同じ大きさで逆方向の電流が誘導されることで外部への磁界の発生をキャンセルすることができる。

[0042]      <保護層>

さらに磁気遮蔽層40の上には保護層50が形成されている。この保護層50は、磁気遮蔽層40よりも内側の構造を機械的に保護するもので、磁気遮蔽層40上にクラフト紙や布テープを巻きつけることで形成される。

[0043]      <断熱管>

断熱管60は、コルゲート内管61とコルゲート外管62とを有する二重管構造である。通常、コルゲート内管61とコルゲート外管62との間は空間が形成され、その空間は真空引きされている。真空引きされる空間内には、スーパーインシュレーション(商品名)が配置され、輻射熱の反射が行なわれる。また、コルゲート内管61とコアとの間に形成される空間は、冷媒の流路として利用しても良い。例えば、中空のフォームを用いて、フォーム内の空間とコルゲート内管内の空間とで冷媒の往復流路を構成することも可能である。そして、コルゲート外管の上には、ポリ塩化ビニル等による防食層70が形成されている。

[0044]      (冷却系統)

図1を参照して、冷却系統は、冷媒を冷却する冷凍機211～213、冷媒を循環させるポンプ221～223、超電導ケーブル110、120、130と冷凍機やポンプとをつなぐ冷媒配管および冷媒配管に設けられた複数のバルブ231～233、241～243、251、252、261～263から構成される。

[0045]      この冷却系統では、冷凍機211～213で冷却した冷媒をポンプ221～223で送って超電導ケーブル110、120、130に循環させ、超電導線材の冷却を行う。ここでは、回線数に対応した数の冷凍機211～213およびポンプ221～223を用いている。つまり、3台の冷凍機211～213と3台のポンプ221～223を用い、各々冷凍機とポンプを直列に配管で接続する。冷凍機から冷媒排出側に引き出される配管は、バルブ231～233を介して各超電導ケーブル110、120、130の一端側へと接続される。その際、冷凍機211とバルブ231との間、冷凍機212とバルブ232との間および冷凍機213とバルブ233との間の配管を連結して各回線間の冷媒流路を連結し、その連結配管にバルブ251、252を設けている。一方、各超電導ケーブル110、120、130の他端には冷媒排出用の配管が接続され、バルブ241～243を介してから一旦1本

に収束され、ケーブル一端側のポンプ側へと導かれる。ポンプ側へと導かれた1本の配管は3つに分岐され、バルブ261～263を介して各ポンプ221～223へと接続される。このように、冷凍機211～213における冷媒排出側と、ポンプ221～223への冷媒導入側とで冷媒流路を連結することで、いずれの冷凍機211～213で冷却した冷媒も任意の回線の超電導ケーブル110～130に送ることができる。

[0046] そして、本例では、冷媒として液体空気(沸点:約79K、凝固点:55K)を用い、各冷凍機211～213は液体空気の凝固点まで冷却可能な能力を有するものとしている。

[0047] また超電導ケーブル110、120、130につながる負荷側の電力需要に応じて冷媒温度を調整する冷媒温度制御機構が設けられていてもよい。図4は、冷媒温度制御機構としての負荷電流の検知手段と温度制御手段とを説明するための図である。図4を参照して、超電導ケーブル110、120、130の各々の両側には常電導ケーブルが接続されている。これらの常電導ケーブルの負荷側には負荷電流の検知手段271、272、273が設けられており、これにより負荷電流が測定される。この負荷電流の検知手段271、272、273の各々には、温度制御手段281、282、283の各々が接続されている。温度制御手段281、282、283の各々は、負荷電流の検知手段271、272、273の各々で測定された負荷電流値に応じて冷凍機211、212、213の各々における冷媒の温度を制御する。

[0048] なお図4において冷凍機211、212、213の各々と超電導ケーブル110、120、130の各々との間を通る2本線は冷媒の経路を示している。また負荷電流の検知手段271、272、273の各々と温度制御手段281、282、283の各々との間を通る1本線は検知信号の経路を示しており、温度制御手段281、282、283の各々と冷凍機211、212、213の各々との間を通る1本線は制御信号の経路を示している。

[0049] [運転方法]

#### <実施例1>

ここでは、上記の超電導ケーブルに接続された負荷側の電力需要の変化に対応した運転方法を説明する。

[0050] 図1の線路において、定常運転時は例えば冷媒温度を77K弱として全ての回線を

運転しておく。この定常運転時、各回線の冷媒流路の連結配管に設けたバルブ251、252を閉じ、他のバルブ231～233、241～243、261～263を全て開いて、冷凍機211～213の各々で各回線の超電導ケーブル110、120、130の冷媒を冷却する。負荷側で電力需要が増大する場合、冷凍機211～213の設定温度を調整して冷媒温度を下げる。例えば、図3のグラフから明らかなように、68K程度に冷却すれば、臨界電流は約1.5倍になる。通常、送電は一定電圧で行なっているため、電流容量を1.5倍に上げれば送電容量を1.5倍とすることができる。さらに、60K以下にまで冷却すれば、臨界電流は約2倍となるため、さらに大容量の送電を行なうことができる。

[0051] つまり、この運転方法によれば、冷媒温度を下げることにより、定常運転時に比べて2倍程度の送電容量を容易に実現することができる。特に、ケーブルを増設することなく既存の超電導ケーブルをそのまま利用して送電できる電力容量を増大することができ、非常に有効である。

[0052] また、電力需要が減少する場合には、冷媒温度を上げて超電導ケーブルの送電容量を下げることも可能である。その場合、上げられた冷媒温度において超電導状態を維持できる超電導線材を用いる必要があるが、超電導ケーブルの冷却コストを低減することができ、超電導ケーブルの運転に要する費用を削減することができる。

[0053] さらに、超電導ケーブルの臨界電流を $I_c$ とし、負荷電流 $I_p$ を計測しておき、 $I_p = \alpha \times I_c$  ( $\alpha$ は裕度、ただし $\alpha < 1$ )となるように冷媒温度 $T$ を可変調整しても良い。これは、負荷電流と臨界電流との裕度を考慮して最も高い冷媒温度で運転を行なう方法であり、冷却システムの負荷を軽減することができる。もちろん、冷媒温度は液体空気の沸点と凝固点の間において調整する。

[0054] <実施例2>

次に、一部の回線が事故で不通になった場合に、残る健全回線で送電を行う場合について説明する。図1に示す3回線のうち、1回線の超電導ケーブル130が事故で不通になり、残る2回線のみで送電が可能となったとする。その場合、不通となった回線の超電導ケーブル130は利用不能だが、冷却システムは全て健全で利用可能であるとする。

- [0055] まず、事故前の定常運転時における各バルブの開閉状態は実施例1におけるバルブの開閉状態と同じである。
- [0056] 超電導ケーブル130が不通になれば、3台の冷凍機211～213と3台のポンプ221～223を用いて2回線の健全回線(超電導ケーブル110、120)に冷媒を供給し十分な冷却能力で冷媒をより低温に冷却する。その場合、事故回線の冷媒供給側バルブ233および同冷媒排出側バルブ243を閉じて事故回線を冷却系統から分離し、連結配管のバルブ251、261を開け、全ポンプ221～223を駆動して冷媒の循環を行なう。これにより、2回線の健全回線に導入された冷媒は3台の冷凍機211～213と3台のポンプ221～223を用いて冷却・循環されることになる。
- [0057] この方法によれば、3回線への冷媒供給が可能な冷却系統を用いて2回線に冷媒供給を行なうため、効率的に冷媒を冷却することができる。その結果、冷媒温度を事故前の温度よりも容易に低温にすることができ、健全回線の送電容量の増大を実現することができる。例えば、事故前に各回線の冷媒温度を77K弱で運転しておき、事故後に健全回線の冷媒温度を約68Kとすれば、1回線あたり事故前の約1.5倍の送電容量を確保できるため、2回線の健全回線で事故前の3回線に相当する容量を送電できる。
- [0058] もちろん、各冷凍機として、1回線の冷媒を増容量運転温度(約68K)に冷却できる能力のものを使い、2台の冷凍機と2台のポンプで2回線の健全回線に冷媒を循環供給しても良い。その場合、事故回線の両端のバルブ233、243を閉じて事故回線を冷却系統から分離し、さらにポンプ223の冷媒導入側に位置するバルブ263も閉じて冷凍機213、ポンプ223を冷却系統から分離する。その状態で冷凍機211、212およびポンプ221、222を用いて超電導ケーブル110、120の冷媒を冷却・循環する。
- [0059] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

産業上の利用可能性

[0060] 本発明方法によれば、冷媒の温度を可変することで、超電導ケーブルの送電容量を変えて運転を行なう。それにより、電力需要の増大が見込まれる場合にケーブルを増設することなく増大した電力需要に対応することや、複数回線の一部に事故が発生して残りの回線でしか送電できなくなった場合でも、事故前と同等か事故前に近い送電容量の送電を行なうことができる。従って、電力供給を行なう分野において、本発明を効果的に利用することができる。

### 請求の範囲

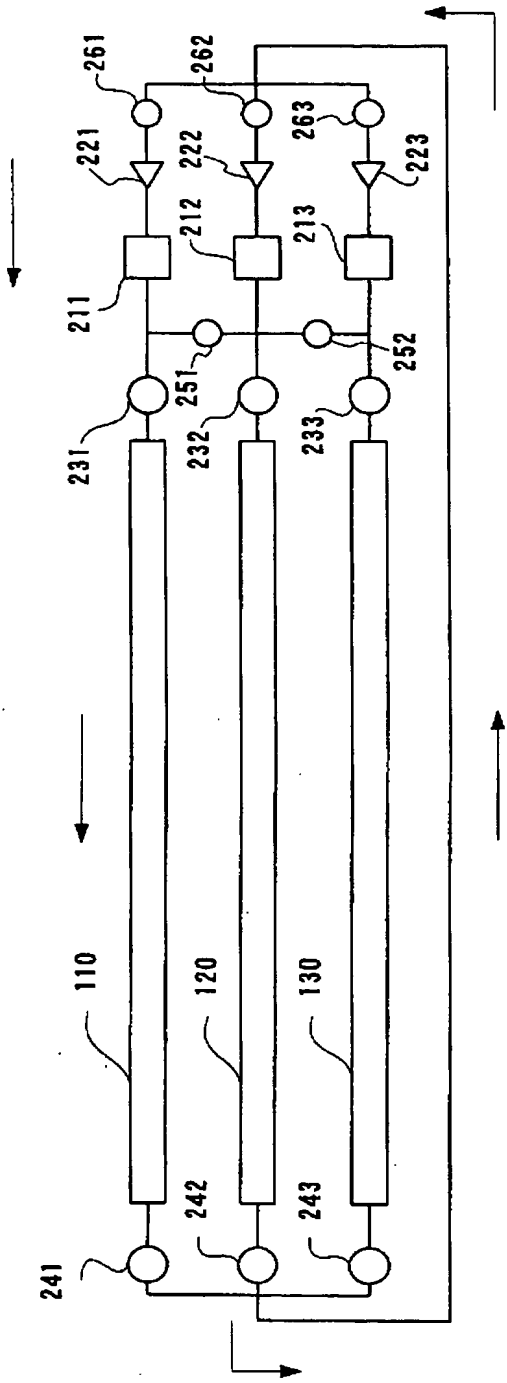
- [1] 冷媒で冷却した導体を用いて送電する超電導ケーブルの運転方法であって、  
前記冷媒温度を変化させることで超電導ケーブル(110、120、130)の送電容量を変化させることを特徴とする超電導ケーブルの運転方法。
- [2] 超電導ケーブル(110、120、130)につながる負荷側での電力需要が増大した場合、冷媒温度を下げて超電導ケーブル(110、120、130)の送電容量を増大させ、電力需要に対応した送電を行なうことを特徴とする請求項1に記載の超電導ケーブルの運転方法。
- [3] 超電導ケーブル(110、120、130)につながる負荷側での電力需要が減少した場合、冷媒温度を上げて超電導ケーブル(110、120、130)の送電容量を減少させ、電力需要に対応した送電を行なうことを特徴とする請求項1に記載の超電導ケーブルの運転方法。
- [4] 超電導ケーブル(110、120、130)が複数回線あり、  
一部の回線に事故が生じた場合、事故の生じていない健全回線の冷媒温度を事故前の温度より低温にして健全回線の送電容量を増大させることを特徴とする請求項1に記載の超電導ケーブルの運転方法。
- [5] 各回線には、その回線の冷媒を冷却する冷凍機(211、212、213)が備えられ、  
事故回線の冷凍機と健全回線の冷凍機との双方を用いて健全回線の冷媒を事故前の温度より低温に冷却することを特徴とする請求項4に記載の超電導ケーブルの運転方法。
- [6] 実質的に冷媒の凝固点まで冷却可能な冷凍機(211、212、213)を用い、冷媒温度をその冷媒の沸点と凝固点との間で変化させることを特徴とする請求項1に記載の超電導ケーブルの運転方法。
- [7] 冷媒を高凝固点冷媒から低凝固点冷媒に入れ替えて、実質的に高凝固点冷媒の凝固点以下にまで冷却可能な冷凍機(211、212、213)を用い、低凝固点冷媒温度をその冷媒の沸点と凝固点との間で変化させることを特徴とする請求項1に記載の超電導ケーブルの運転方法。
- [8] 冷媒は、液体窒素、液体空気、液体水素、液体ネオン、液体ヘリウム、液体酸素の

いずれかであることを特徴とする請求項1に記載の超電導ケーブルの運転方法。

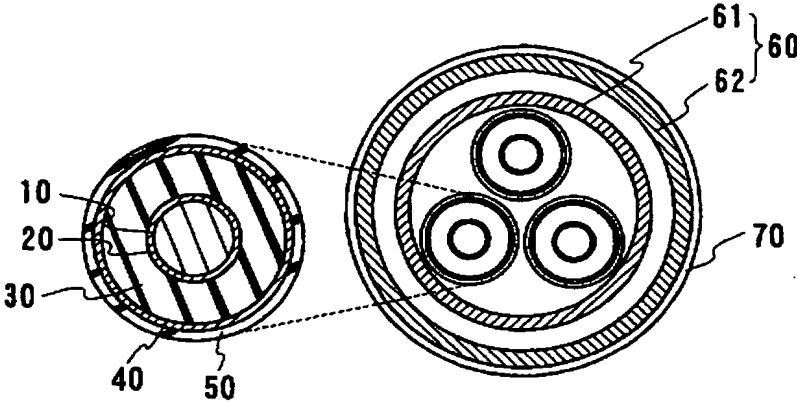
- [9] 超電導ケーブル(110、120、130)と、  
超電導ケーブル(110、120、130)に用いられる冷媒を冷却する冷却機構(211、212、213)と、  
冷却機構(211、212、213)で冷却した冷媒を超電導ケーブル(110、120、130)に循環する循環機構(221、222、223)と、  
超電導ケーブル(110、120、130)につながる負荷側の電力需要に応じて冷媒温度を調整する冷媒温度制御機構(271、272、273、281、282、283)とを有することを特徴とする超電導ケーブルシステム。
- [10] 複数の超電導ケーブル(110、120、130)と、  
各超電導ケーブル(110、120、130)に用いられる冷媒を冷却する冷却機構(211、212、213)と、  
冷却機構(211、212、213)で冷却した冷媒を超電導ケーブル(110、120、130)に循環する循環機構(221、222、223)と、  
一部の超電導ケーブル(110、120、130)が不通になった場合、不通になった超電導ケーブルへの冷媒供給を遮断し、残りの健全な超電導ケーブルへ冷媒供給を可能にする冷媒流路切替機構(231〜233、241〜243、251、252、261〜263)とを有することを特徴とする超電導ケーブルシステム。



[図1]

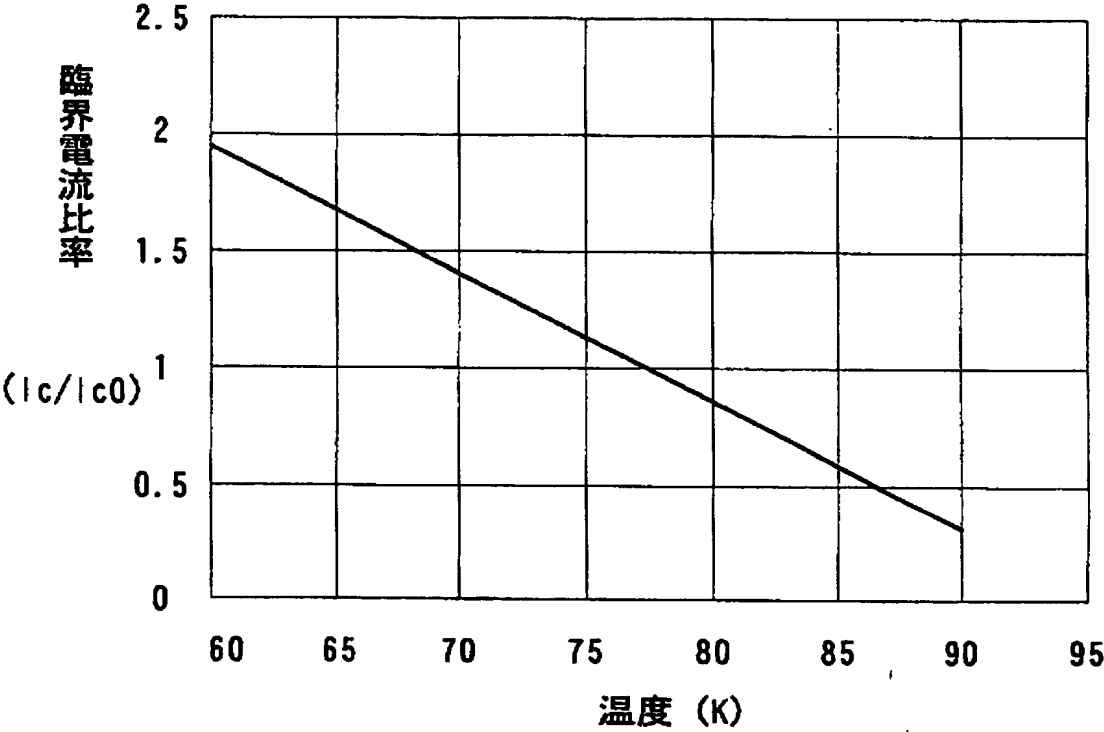


[図2]

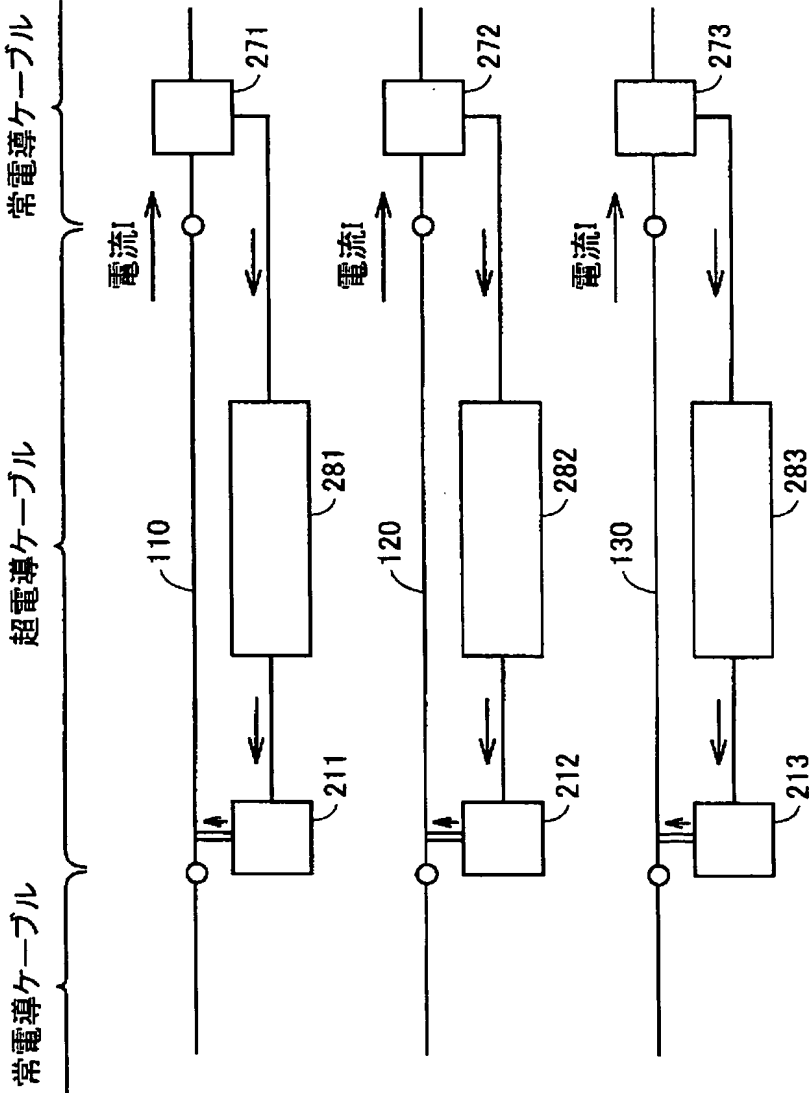


[図3]

$I_{c0}$ は77Kの $I_c$



[図4]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013120

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01B12/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01B12/00-12/16, 13/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-202837 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 27 July, 2001 (27.07.01), Claims; Par. No. [0012] (Family: none)	1-10
Y	JP 51-067983 A (Hitachi Cable, Ltd.), 12 June, 1976 (12.06.76), Claims (Family: none)	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
06 December, 2004 (06.12.04)

Date of mailing of the international search report  
21 December, 2004 (21.12.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01B12/16

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01B12/00~12/16、13/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2001-202837 A (住友電気工業株式会社) 2001. 07. 27, 特許請求の範囲、第0012段落 (ファミリーなし)	1-10
Y	J P 51-067983 A (日立電線株式会社) 1976. 06. 12, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06. 12. 2004

国際調査報告の発送日

21.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

米田 健志

4 K

8924

電話番号 03-3581-1101 内線 3435